

Construcciones que se ven, construcciones que se oyen

El significado de la acústica aplicada a la arquitectura

Autora: María Andrea Farina

Nos encontramos cantando en nuestro dormitorio y nos trasladamos al living, de repente notamos que nuestra voz suena diferente. Sorprendidos por la experiencia repetimos la estrofa de la canción en cada uno de los ambientes de nuestra casa y oímos que existen diferencias en cada caso, ¿qué las define? Las características de un lugar se pueden experimentar a través de la audición; la combinación de superficies, objetos y geometrías en un sitio crea una arquitectura aural con determinada personalidad. En cada espacio, las fuentes acústicas se modificarán debido a la arquitectura sonora.

Nosotros somos capaces de escuchar las construcciones. Podemos imaginar fácilmente la experiencia auditiva de un living, un pasillo, un galpón, un teatro, una catedral gótica, una pequeña iglesia, una casa sin mobiliario y un restaurante de comida rápida, lo que indica que reconocemos su arquitectura aural.

En arquitectura trabajamos aspectos aurales y visuales. Si nos imaginamos dentro de una obra cuyos cierres están materializados con vidrios transparentes con un alto aislamiento acústico, la experiencia aural quedará limitada al recinto confinado pero la visual generará un continuo con la escena circundante sin interrupciones como ocurre en la Casa Farnsworth diseñada por Mies van der Rohe. Si los cierres se reemplazaran por una estructura de sostén y una tela opaca, la experiencia visual estaría confinada, sin embargo, el sonido se propagaría como si los cierres no existieran y la escena auditiva sería abierta y no tendría obstrucciones. El arquitecto puede hacer muros acústicos y visuales: el vidrio es una partición auditiva pero no visual, una cortina negra es una partición visual pero no sonora. Estos dos tipos de cierres delimitan dos tipos de áreas espaciales: la auditiva y la visual. Un proyecto se puede pensar en función de una de estas dos áreas o integrando ambos aspectos. Desde esta perspectiva se entiende que la acústica es una manifestación del edificio en sí mismo.

Un espacio es acústicamente adecuado para una actividad si cumple con determinadas condiciones que lo hacen apto, por ejemplo, una sala para música debe tener un nivel de ruido de fondo muy bajo. Los músicos durante la prueba de sonido previa a un concierto, evalúan dinámicas muy contrastantes para testear el auditorio. Tocan para evaluar la respuesta sonora regulando los *pp* y los *ff* hasta alcanzar la paleta dinámica apropiada. Por supuesto, si el ruido de fondo no es el adecuado, el rango dinámico se reduce y puede ocurrir que parte de los detalles de la música se pierdan y se ponga en juego su esencia estructural.

Además, cada recinto deberá tener un correcto comportamiento interno. Un grupo de música amplificado que toca rock en una iglesia grande cuya arquitectura interior posea materiales que reflejen el sonido y mucha ornamentación, seguramente coincida, al finalizar el concierto, en que no se oyeron bien y muy probablemente el público se haya llevado la misma impresión. Como en el caso anterior, existen parámetros que califican la acústica interior y que constituyen herramientas de diseño.

En arquitectura hacer la acústica de una obra, implica dos conceptos complementarios: el aislamiento y el acondicionamiento interior. El sonido que se genera en un recinto puede transmitirse a otros espacios: el aislamiento estudia las formas de minimizar la transmisión sonora. Además, las construcciones deben tener un campo interior adecuado a sus usos, compatible con sus funciones: el acondicionamiento se encarga de resolver este aspecto.

Niveles de ruido de fondo

El ruido de fondo en el interior de un local es determinante para establecer su calidad. En acústica existen, para cada actividad, valores recomendados. Un ejemplo lo constituyen las curvas NC (Noise Criteria): una sala de conciertos, un estudio de televisión, un teatro de prosa requerirá un nivel de ruido de fondo muy bajo mientras que una confitería o un comercio admitirán uno más elevado. En una vivienda, las áreas de descanso necesitarán niveles de ruido inferiores a las zonas de servicio. Para lograr confort en un ambiente se deben asegurar los niveles de ruido máximo de acuerdo con sus funciones - en la tabla 1 se muestran algunos ejemplos. En la figura 2 se observan los valores obtenidos en una medición realizada en la Sala Príncipe de Asturias del Parque España.¹ Las curvas NC 26 y 27 registradas se acercan a los valores recomendados: una sala como la analizada para música no amplificada debería cumplir con el criterio de ruido NC 20-25 y para los casos de utilización de sistemas de amplificación el criterio debería ser NC 25-30.

Tipos de espacio	Curva NC recomendada	Equivalencia en dBA
Salas de conciertos y recitales	15-20	23-28
Estudios de televisión y salas de música	20-25	28-33
Salas de teatro	20-25	28-33
Salas de conferencias	25-30	33-38
Aulas	25-30	33-38
Oficinas privadas	30-35	38-43
Salas de cine	30-35	38-43
Habitaciones de hotel	30-35	38-43
Bibliotecas	35-40	43-48
Restaurantes	40-45	48-53

Tabla 1. Curvas NC recomendadas y niveles de ruido de fondo equivalentes (en dBA)

¹ La medición fue realizada en mayo de 2019 en conjunto con el equipo de investigación que dirige el Ing. Gabriel Data (CEMyT – Centro de Estudios en Música y Tecnología de la Facultad de Humanidades y Artes de la UNR)

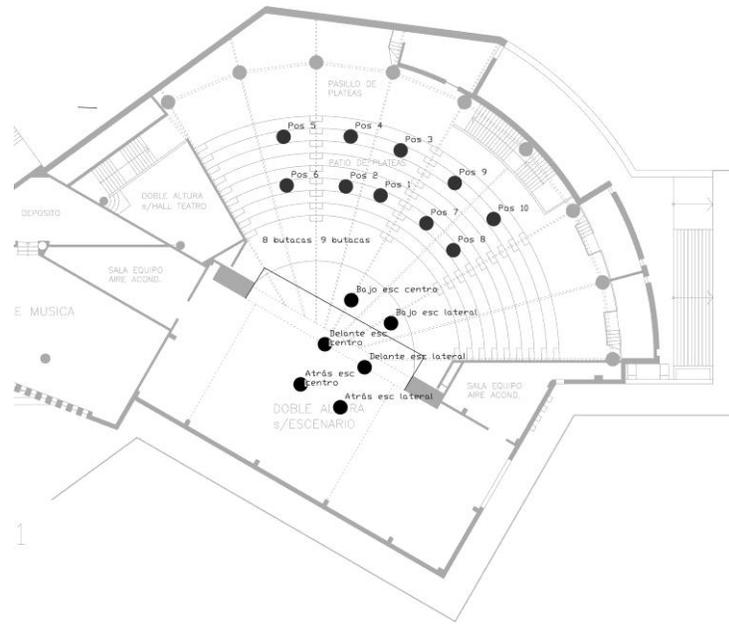


Figura 1. Esquema de posiciones de la fuente y puntos de medición en la Sala Príncipe de Asturias del Parque España

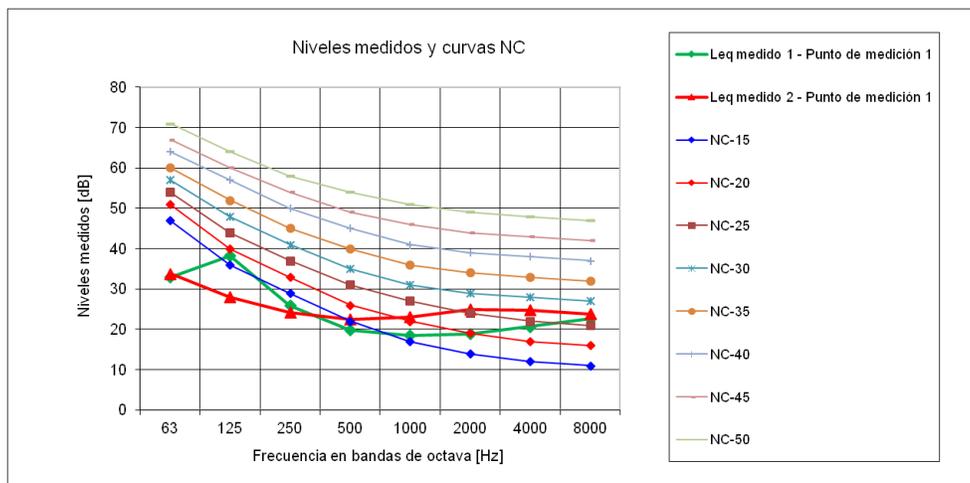


Figura 2. Niveles de ruido medidos en la Sala Príncipe de Asturias del Parque España que corresponden a los perfiles NC 26 y 27 y curvas NC de referencia

Aislamiento acústico

El aislamiento tiene por objeto evitar la transmisión de la energía acústica entre ambientes. Es función de los niveles de ruido que se requieran de acuerdo con el uso del espacio y de los ruidos que se generen en el interior de los locales.

Los sonidos se propagan por dos vías. Una de ellas es la vía aérea: la fuente sonora actúa directamente sobre el aire; por ejemplo, una persona hablando, un parlante, los instrumentos musicales y el ruido de tránsito. La otra vía es la estructural: la fuente genera una vibración continua o de impacto sobre la

estructura que se transmite por vía sólida; el ruido generado por motores, una persona caminando, golpes, la caída de un objeto sobre el piso. Para que el desarrollo de determinada actividad no interfiera con el confort será preciso considerar el aislamiento acústico a los ruidos aéreos y a los ruidos de impacto.

En la figura 3 se muestran dos recintos. En el primero, una fuente sonora genera un nivel de presión sonora NPS_1 que a través de la pared S_1 se transmite al local $N^\circ 2$ creando un campo sonoro de nivel NPS_2 .

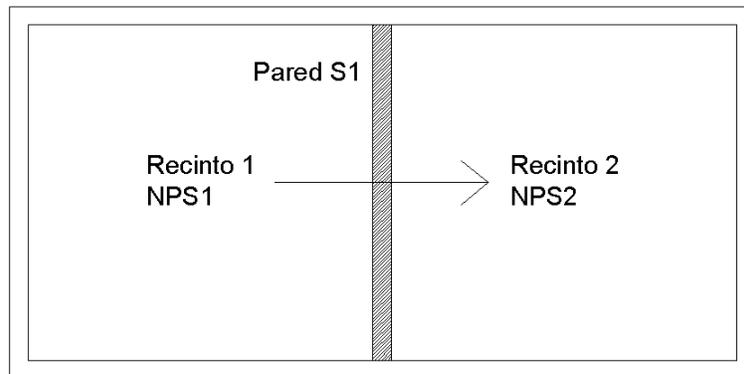


Figura 3. Recinto $N^\circ 1$ donde se genera ruido y recinto receptor $N^\circ 2$

Deberemos determinar las características constructivas de la pared común S_1 para que ésta, en conjunto con los posibles caminos de transmisión -en la práctica, además, siempre existirá transmisión lateral de un ambiente a otro llamada flaqueo-, permita que el valor NPS_2 no supere el previsto de acuerdo con su destino; por ejemplo, un dormitorio requerirá un nivel más silencioso que un comedor. El aislamiento de un elemento constructivo quedará definido por el *Índice de reducción sonora de una partición R* (medido en dB). Los valores de R se encuentran en tablas y también pueden ser suministrados por los fabricantes de materiales. Los valores altos de Índice de reducción sonora significan una baja transmisión de energía acústica.

En una obra de arquitectura es usual la presencia de elementos constructivos distintos que se caracterizan por tener valores de Índice de reducción sonora diferentes. El aislamiento acústico global de un elemento mixto, por ejemplo, una pared con una puerta, dependerá del área de cada uno de los elementos constructivos y del R de cada uno de ellos. En estos casos conviene siempre que los índices de los materiales constructivos sean semejantes para que el aislamiento del conjunto no pierda calidad.

En el programa de un proyecto es clave identificar cuáles son los locales que debe ser protegidos acústicamente y cuáles son los más contaminantes. Un esquema de partido donde los distintos sectores se organizan de acuerdo con sus niveles de ruido optimiza el aislamiento y este criterio es válido tanto para un vivienda unifamiliar como para la planificación urbana.

Acondicionamiento acústico interior

La acústica interior, como en los casos anteriores, también guarda una relación directa con su función. Por ejemplo, un auditorio, un aula, una oficina, un taller, la sala de espera de un hospital deben tener un campo sonoro interior correcto.

Wallace Clement Sabine (1868 - 1919), a fines del siglo XIX, estableció que la calidad acústica interior de una sala queda definida por el tiempo que tarda el sonido en extinguirse -en ser apenas audible- al cesar la fuente que lo emite, parámetro que se denomina tiempo de reverberación (TR) y que pasó a ser la variable principal a considerar en un proyecto acústico:

"El tiempo de reverberación es el tiempo que debe transcurrir para que la intensidad del sonido que se extingue quede reducida a una millonésima de la intensidad de emisión. Por tanto, la definición equivale a decir que transcurrido este tiempo el sonido ha sufrido una atenuación de 60 dB".

Después de múltiples experiencias, Sabine estableció una relación que vincula el tamaño del recinto y la cantidad de material absorbente en su interior con una primera y sencilla concepción de calidad perceptual. Él dedujo que el tiempo de reverberación viene dado por la siguiente fórmula:

$$TR = \frac{0,16 V}{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + \dots + S_n \alpha_n}$$

donde:

S_n corresponde a cada una de las superficies interiores,

α_n es el coeficiente de absorción del material de revestimiento de cada superficie y

V es el volumen del recinto

En el modelo de Sabine se observa que:

- El TR es directamente proporcional al volumen. Un local de grandes dimensiones tendrá un valor de tiempo de reverberación más alto que uno de pequeñas dimensiones.
- Si aumento la cantidad de materiales absorbentes en el interior, disminuye el tiempo de reverberación y, si eliminamos elementos que absorben sonido, aumentará la reverberación.
- El TR depende de la frecuencia. En general, el coeficiente de absorción varía en función de la frecuencia. Es habitual analizar el TR en bandas de octava (también puede estudiarse dividiendo el espectro en tercios o sextos de octava).

Se han hecho muchos estudios estadísticos que definen cuál es el tiempo de reverberación adecuado en función del destino de la construcción (tabla 2). Si el lugar es para palabra hablada conviene que el tiempo de reverberación sea bajo, del orden del segundo ya que si este parámetro tuviera un valor grande, las sílabas se solaparían unas con otras afectando el discurso. Por su parte, los auditorios proyectados para música tienen mayor tiempo de reverberación.

Tipo de Sala	TR [s]
Estudios de radio	0,2 a 1,0
Aulas	0,5 a 0,9
Salas de conferencias	0,8 a 1,4
Cines	0,7 a 1,3
Pequeños teatros	1,1 a 1,5
Teatros de ópera	1,3 a 1,9
Auditorios	1,4 a 2,0

Tabla 2. Tiempos de reverberación óptimos de acuerdo con el uso de la sala [500 Hz - 1000 Hz] (Méndez *et al*, 1994)

En la tabla 3 y en la figura 5 se observan los valores de tiempo de reverberación obtenidos a partir de una medición acústica realizada en el Teatro El Círculo.²



Figura 4. Ubicaciones de la fuente en el escenario y puntos de medición en la platea en el Teatro El Círculo

² Medición realizada en el marco de la Semana del Sonido 2015

Frecuencia [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30 Promedio general Fuente centro [s]	1,9	1,97	2,04	2,11	1,86	1,4	0,88
T30 Promedio general Fuente lateral [s]	1,92	1,96	2,05	2,08	1,91	1,4	0,88
T30 Promedio general Ambas fuentes [s]	1,91	1,97	2,05	2,10	1,89	1,40	0,88

Tabla 3. T30 [s] - Promedio de todos los puntos de medición - fuente centro escenario, fuente lateral izquierdo escenario y promedio global que incluye las dos ubicaciones de la fuente.

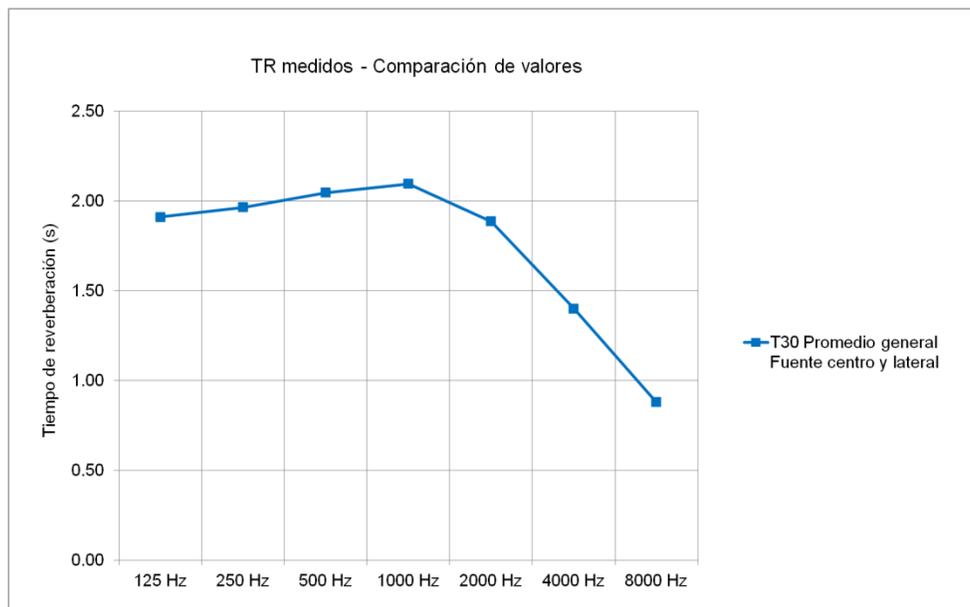


Figura 5. T30 [s] - Promedio de todos los puntos de medición que incluye las dos ubicaciones de la fuente.

El tiempo de reverberación en El Círculo coincide mayormente con los valores de referencia descritos en la literatura especializada para teatros con planta en forma de herradura italiana. Además, la sala resulta espacialmente muy pareja: las distintas localidades tienen similar tiempo de reverberación. La escasa diferencia entre los valores obtenidos con las fuentes acústicas ubicadas en diferentes posiciones (centro y lateral) nos indica que el espacio presenta poca sensibilidad al cambio de ubicación de los instrumentos en el escenario, por ejemplo, ante una orquesta de gran tamaño o fuentes puntuales en movimiento -actores durante una representación dramática. Cabe destacar que en un teatro para música, este parámetro es solo una de las variables que se eligen para evaluarlo.

Evidentemente experimentamos los espacios no solo viendo sino también oyendo y este hecho define la arquitectura aural de un sitio. Las obras con buena acústica son siempre más confortables y, muchas veces, con el mismo costo de construcción. Por todos estos motivos es fundamental integrar la disciplina a los proyectos de arquitectura.

Referencias bibliográficas

Arau, Higinio. *ABC de la acústica arquitectónica*. Barcelona: CEAC, 1999.

Beranek, Leo. "Revised criteria for noise in buildings". *Noise Control* 3, 19 (1957): 19-27. doi: 10.1121/1.2369239.

Blessner, Barry y Salter, Linda-Ruth. *Spaces speak, are you listening? Experiencing aural architecture*. Massachusetts: The MIT Press, 2007.

Farina, María A. *Tipologías arquitectónicas y calidad acústica de salas para música*. Bernal: Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes, 2019.

Méndez, Antonio, Alberto Stornini, Estela Salazar, Gustavo Giuliano, Ariel Velis y Beatriz Amarilla. *Acústica Arquitectónica*. Buenos Aires: Universidad del Museo Social Argentino, 1994.

Sabine, Wallace C. *Collected Papers on Acoustics*. Cambridge: Harvard University Press, 1922.